



Tielaitos

Masuunihiekan käyttö päällys- rakennekerroksissa

**Tielaitoksen
selvityksiä**

47/1994

Helsinki 1994

Geokeskus
Oulun kehitysyksikkö

Tielaitoksen selvityksiä
47/1994

Masuunihiekan käyttö päällysrakennekerroksissa

Tielaitos
Geokeskus, Oulun kehitysyksikkö

Helsinki 1994

ISSN 0788-3722
ISBN 951-47-9439-7
TIEL 3200256
Painatuskeskus Oy
Helsinki 1994

Julkaisun kustannus ja myynti:
Tielaitos, hallinnon palvelukeskus,
painotuotepalvelut
Telefax (90) 1487 2652

Tielaitos
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde (90) 148 721

Aiheluokka 32, 42, 55

Asiasanat masuunihiekka, tien rakentaminen, päällysrakennekerrosten rakentaminen

TIIVISTELMÄ

Masuunihiekka on rautateollisuuden sivutuotteena, granuloinnin tuloksena syntyvä, hitaasti sitoutuva, huokoinen, hiekanomainen rakennusmateriaali, jota voidaan käyttää tien päällysrakennekerroksissa. Rakenne saavuttaa hitaasti luonnonkosteassa tilassa 2 - 3 kuukauden kuluttua mitoituksen perustana olevan kantavuusarvonsa. Haluttaessa nopeuttaa sitoutumisreaktiota voidaan aktivaattorina käyttää sementtiä, kalkkia tai kipsiaktivaattoreita. Huokoisen raekoostumuksensa ansiosta masuunihiekkakerros toimii myös lämpöeristeenä, mikä voidaan ottaa huomioon rakenteen routamitoituksessa.

Masuunihiekkarakenteen kuormitusmitoitus tehdään perinteisen kantavuusmitoituksen tapaan tielaitoksessa voimassa olevien päällysrakenteen suunnittelua koskevien ohjeiden mukaan tai kuormituksen aiheuttamiin kriittisiin rasituksiin perustavana kestävyystarkasteluna. Sitoutumisominaisuuksiensa vuoksi masuunihiekalle voidaan kenttä- ja laboratoriokokeiden perusteella käyttää staattisen kimmomoduulin arvona 600 MN/m^2 . Mitoitus voidaan tehdä myös analyyttistä mitoitusmenetelmää käyttäen, jolloin masuunihiekkakerroksen kriittisenä rasituksena käytetään kerroksen alapinnan taivutusvetojännitystä. Dynaamisen moduulin arvona laskeissa käytetään 800 MN/m^2 .

Masuunihiekkarakenteen routamitoitus voidaan tehdä sekä tielaitoksen perinteisen menetelmän että analyyttisen menetelmän avulla, jossa routasyvyyden lisäksi voidaan määrittää routanousu pakkasmäärän ja pohjamaan perusteella.

Masuunihiekkakerros rakennetaan suodatinkerroksen päälle. Työnaikainen liikenne voidaan ohjata kerroksen päälle heti levityksen ja alkutiivistyksen jälkeen. Päällysteen alusta on rakennettava masuunikuonamurskeesta tai masuunihiekan ja luonnonmurskeen seoksesta, jotta varmistetaan päällysteen tarttuminen alustaan. Päällystäminen voidaan suorittaa noin kuukauden kuluttua masuunihiekkakerroksen rakentamisesta. Tällä varmistetaan, että masuunihiekka on sitoutunut riittävästi.

ALKUSANAT

Tämä julkaisu on jatkoa aikaisemmin ilmestyneeseen ilmajäähdytettyjä masuunikuonia koskevaan tielaitoksen selvityksiä sarjan julkaisuun nro 15/1993 "Masuunikuonan käyttö sitomattomissa päällysrakennekerroksissa". Masuunihiekkarakenteiden suunnittelu, mitoitus ja rakentaminen poikkeaa muusta kuonarakentamisesta. Tämän vuoksi saatuja kokemuksia yhdistämään perustettiin lokakuussa 1992 työryhmä, jonka tehtävänä oli saada aikaan masuunihiekalle suunnittelun ja rakentamisen ohjeet.

Julkaisu sisältää suunnitteluohjeen ja rakentamisen työselityksen tapauksessa, jossa masuunihiekkaa käytetään massiivirakenteena päällysrakenteen osana. Masuunihiekan käytöstä päällysrakennekerroksessa stabiloinnin yhteydessä tehdään vuoden 1995 aikana erillinen julkaisu.

Tämä julkaisu on ohjeellinen, jota täydennetään tarvittaessa koerakenteiden seurannasta saatujen kokemusten karttuessa.

Työryhmään ovat kuuluneet Geokeskuksen Oulun kehitysyksikön päällikkö Heikki Suni (puheenjohtaja), Oulun tiepiiristä työmaapäällikkö Heikki Riikonen ja apulaistiemestari Raimo Pöykiö, tekniikan tohtori Kauko Kujala ja diplomi-insinööri Lauri Liimatta Oulun yliopistosta sekä rakennuspäällikkö Jari Lappi (sihteeri) SKJ Yhtiöistä.

Oulussa syyskuussa 1994

Geokeskus
Oulun kehitysyksikkö

| | |
|---|----|
| SISÄLLYSLUETTELO | 7 |
| JOHDANTO | 9 |
| I SUUNNITTELUOHJEET | 10 |
| 1 MASUUNIHIEKAN MATERIAALITEKNISET OMINAISUUDET | 10 |
| 1.1 Masuunihiekan valmistus | 10 |
| 1.2 Masuunihiekan kemialliset ominaisuudet | 12 |
| 1.2.1 Koostumus | 12 |
| 1.2.2 Sitoutumisreaktio | 12 |
| 1.2.3 Ympäristövaikutukset | 12 |
| 1.3. Masuunihiekan fysikaaliset ominaisuudet | 13 |
| 1.3.1 Masuunihiekan tilavuuspaino | 13 |
| 1.3.2 Masuunihiekan lämpötekniset ominaisuudet | 13 |
| 1.3.2.1 Lämmönjohtavuus | 13 |
| 1.3.2.2 Lämpökapasiteetti | 15 |
| 1.3.3 Masuunihiekan hydrauliset ominaisuudet | 15 |
| 1.3.3.1 Kapillaarisuus | 15 |
| 1.3.3.2 Vedenjohtavuus | 15 |
| 1.4 Masuunihiekan E-moduuli | 15 |
| 1.5 Rakeisuus | 16 |
| 1.6 Laatuvaatimukset | 16 |
| 2 MASUUNIHIEKASTA RAKENNETTAVIEN PÄÄLLYSRAKENTEIDEN SUUNNITTELU JA MITOITUS | 17 |
| 2.1 Suunnittelun ja mitoituksen perusteet | 17 |
| 2.2 Alusrakenne | 17 |
| 2.3 Päällysrakenne | 17 |
| 2.3.1 Suodatinkerros | 17 |
| 2.3.2 Masuunihiekkakerros | 17 |
| 2.3.3 Päällysteen alusta | 17 |
| 2.4 Mitoitus | 18 |
| 2.4.1 Routamitoitus | 18 |
| 2.4.1.1 Routamitoituksen periaatteet | 18 |
| 2.4.1.2 Mitoitus routasyvyyden perusteella | 18 |
| 2.4.1.3 Mitoitus sallitun routanousun avulla | 19 |
| 2.4.1.4 Roudan syvyys analyttisessä mitoituksessa | 20 |
| 2.4.2 Kuormitusmitoitus | 23 |
| 2.5 Mitoitusesimerkki | 26 |

| | |
|---|----|
| II RAKENTAMISEN TYÖSELITYS | 29 |
| 1 OHJEEN SOVELTAMINEN | 29 |
| 2 VARASTOINTI JA KULJETUS | 29 |
| 3 ALUSRAKENNE | 29 |
| 4 PÄÄLLYSRAKENNE | 29 |
| 4.1 Suodatinkerros | 29 |
| 4.2 Masuunihiekkakerros | 30 |
| 4.2.1 Rakentaminen | 30 |
| 4.2.2 Masuunihiekkakerroksen laatuvaatimukset | 30 |
| 4.3 Päällysteen alusta | 30 |
| 4.3.1 Päällysteen alustana luonnonmateriaali | 31 |
| 4.3.2 Päällysteen alustana masuunikuonamurske | 31 |
| 4.4 Päällystäminen | 31 |
| 5 TYÖNAIKAINEN LIIKENNE | 31 |
| LÄHDELUETTELO JA KIRJALLISUUTTA | 33 |

JOHDANTO

Suomessa rautateollisuuden sivutuotteena syntyy Raahessa ja Koverharissa vuosittain yhteensä 550 000...600 000 tonnia masuunikuonaa. Masuunikuonia on käytetty tierakennusmateriaaleina 1970-luvun alusta lähtien. Jäähdytystavan perusteella masuunikuonat jaetaan joko ilma- tai vesijäähdytettyihin. Jäähdytystapa antaa masuunikuonalle erilaisia ominaisuuksia. Perinteisesti on tienrakentamiseen käytetty ilmajäähdytettyjä masuunikuonia. Ilmajäähdytettyjen masuunikuonien käytöstä ilmestyi vuonna 1993 tielaitoksen selvitys 15/1993 "Masuunikuonan käyttö sitomattomissa päällysrakennekerroksissa". Vesijäähdytetty masuunikuona eli masuunihiekka on ollut tuntemattomampi tierakennusmateriaali, kunnes 1990-luvun alussa tehtyjen koerakenteiden kautta huomattiin sen sopivuus myös tienrakentamiseen.

Vesijäähdytetyn masuunikuonan eli masuunihiekan tärkeimmät ominaisuudet ovat lämmöneristys- ja sitoutumisominaisuus. Maailmalla yleisesti käytetty masuunikuonan vesijäähdytys tapahtuu suoragranuloinnin avulla, johon ollaan siirtymässä myös Suomessa. Tämän johdosta vuoden 1996 jälkeen suurin osa masuunikuonista tulee olemaan masuunihiekkaa.

Tämä julkaisu käsittelee masuunihiekan käyttöä tierakennusmateriaalina. Julkaisussa käydään läpi masuunihiekan materiaalitekniisiä ominaisuuksia, perehdytään materiaalista rakennettavien rakenteiden suunnitteluun ja annetaan ohjeita käytännön rakentamiseen.

I SUUNNITTELUOHJEET

1 MASUUNIHIEKAN MATERIAALITEKNISET OMINAISUUDET

1.1 Masuunihiekan valmistus

Masuunihiekka on raakaraudan valmistuksen sivutuote, jonka kemiallinen koostumus määräytyy masuuniprosessista sekä siinä käytettävistä raaka-aineista ja lisäaineista.

Masuunin rautaraaka-aine sisältää rautaoksidin (hematiitin Fe_2O_3 tai magnetiitin Fe_3O_4) lisäksi rautamalmien sivukiveä, joka koostuu pääasiassa piin, kalsiumin, alumiinin ja magnesiumin oksideista. Ennen masuuniprosessia hienorakeinen malmirikaste saatetaan kappalemuotoon sintraamalla, jolloin siihen lisätään koksia tai hiilimurskaa sekä kalkkia.

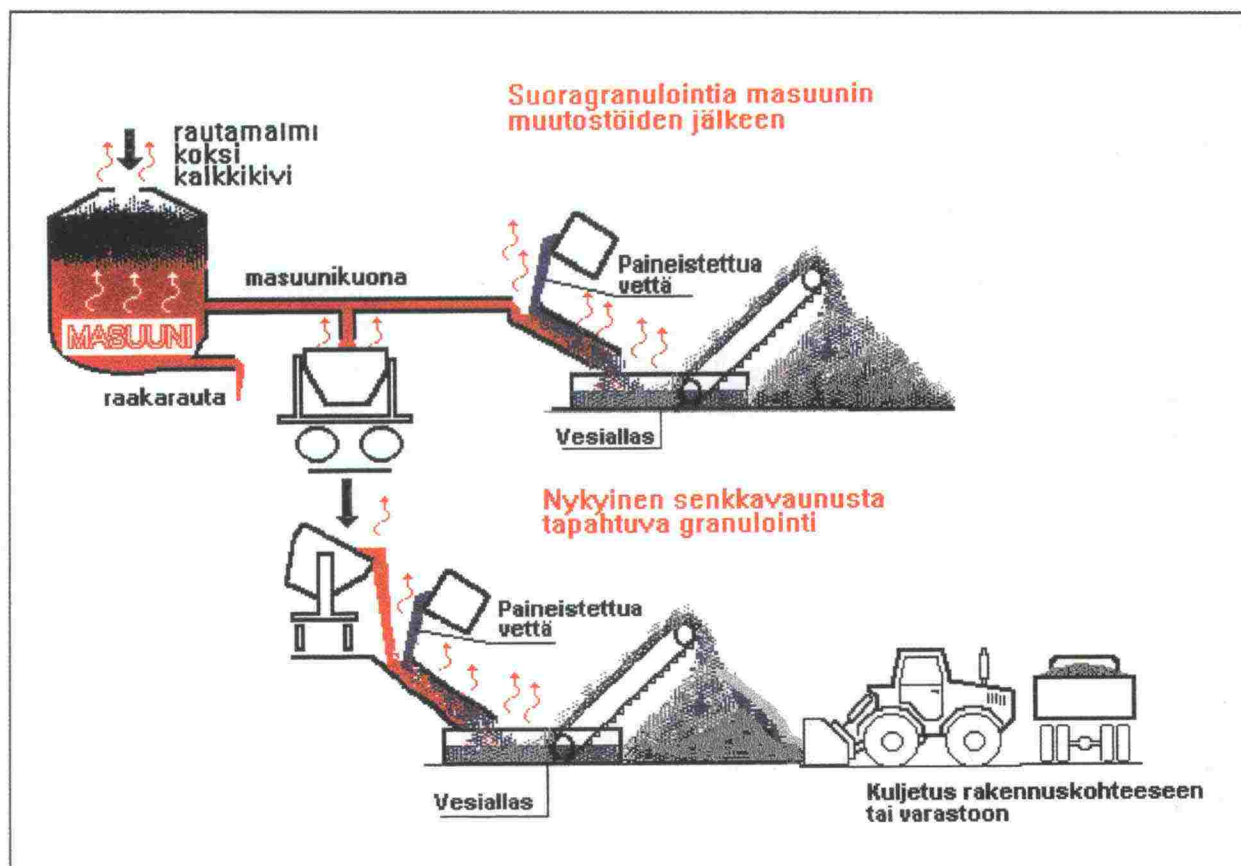
Masuunissa rauta vapautetaan hapestä eli pelkistetään kaksin avulla korkeassa lämpötilassa. Koksi sisältää hiiltä noin 88 % ja sivukivestä peräisin olevaa tuhkaa noin 10 % sekä hieman rikkiä.

Lämpötilan kohotessa masuunissa 1400 - 1500 °C:een sivukivistä peräisin olevat oksidit sulavat yhdessä kalkkikiven kanssa muodostaen kuonan, joka valuu alas pesään ja jää kerrokseksi sulan raudan päälle. Kuonan oikea koostumus on masuunin toiminnan kannalta ratkaisevan tärkeä, joten koostumus on pidettävä oikeana mahdollisimman tarkasti.

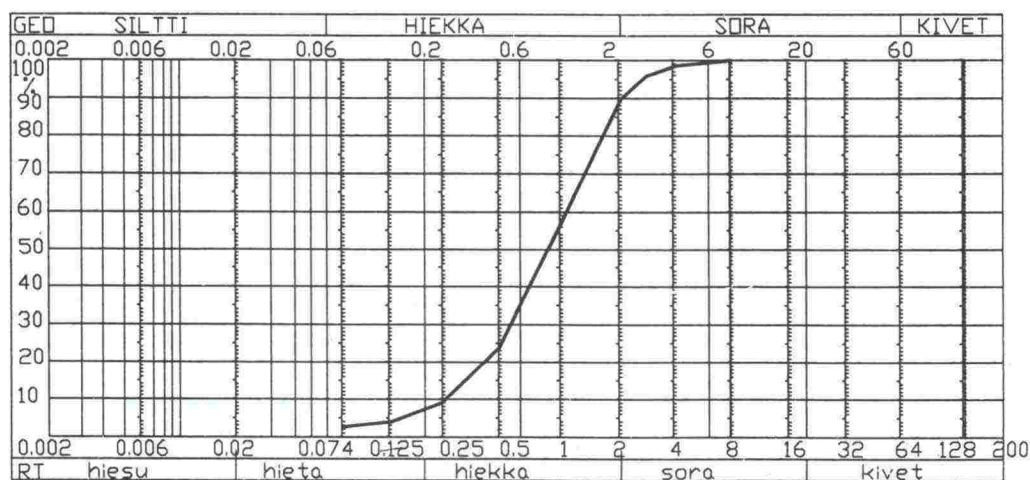
Masuunihiekka syntyy vesijähdytyksen eli granuloinnin tuloksena. Siinä sula masuunikuona (lämpötila n. 1350 °C) kaadetaan senkasta kaukaloön, johon suihkutetaan vettä noin 8 barin paineella (kuva 1). Tämä paineellinen vesisuihku rikkoo sulan kuonan raekooltaan 0 - 5 mm:n tuotteeksi, jolla on erinomaiset hydrauliset ja lämpötekniset ominaisuudet.

Nopean jäähdytyksen takia masuunihiekka ei ehdi kiteytyä, vaan jää huokoiseen lasitilaan, jonka lasimaisuusaste on noin 95 %.

Suomessa masuunihiekkaa valmistetaan Raahen ja Koverharin masuunikuonasta. Prosessissa syntyvä tuote on masuunihiekka (MaHk), jonka tyyppillinen rakeisuuskäyrä on esitetty kuvassa 2.



Kuva 1: Masuunihiekan valmistus



Kuva 2: Masuunihiekan tyypillinen rakeisuuskäyrä

1.2 Masuunihiekan kemialliset ominaisuudet

1.2.1 Koostumus

Masuunikuonien pääkomponentit ovat piin, kalsiumin, alumiinin ja magnesiumin oksidit. Vähäisempinä pitoisuuksina esiintyvistä rikistä, titaanista, alkaaleista ja mangaanista on erityisesti rikillä olennainen merkitys masuunihiekan kemiallisiin ominaisuuksiin.

Kemialliset ominaisuudet eivät riipu pelkästään koostumuksesta vaan myös valmistusprosessiin liittyvän nopean vesijäähdytyksen aiheuttamasta lasimaisesta, huokoisesta sisäisestä rakenteesta. Kemiallinen koostumus ja lasimainen rakenne antavat masuunihiekalle sen tunnetut hydrauliset ominaisuudet. Masuunihiekan keskimääräinen koostumus on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1: Raahen ja Koverharin masuunikuonien kemiallinen koostumus

| | Raahe | Koverhar |
|--------------------------------|---------|----------|
| CaO | 37,6 % | 38,2 % |
| MgO | 11,5 % | 12,1 % |
| SiO ₂ | 36,0 % | 37,2 % |
| Al ₂ O ₃ | 8,3 % | 9,3 % |
| K ₂ O | 0,8 % | 0,6 % |
| Mn | 0,3 % | 0,4 % |
| P | 0,001 % | 0,0009 % |
| S tot | 1,5 % | 1,18 % |
| Fe tot | 0,3 % | 0,2 % |
| Zn | 0,000 % | 0,002 % |

1.2.2 Sitoutumisreaktio

Masuunihiekka toimii hydraulisena sideaineena. Sementtiin verrattuna masuunihiekka sitoutuu huomattavasti hitaammin ja sitoutumislämpö on huomattavasti alhaisempi kuin sementillä. Sitoutumista voidaan kiihdyttää sementillä, kalkilla ja kipsiaktivaattoreilla. Masuunihiekan raekoon pienentäminen esimurskauksella tehostaa samoin sitoutumisreaktioita.

Masuunihiekka sitoutuu ilman lisättyjä aktivaattoreita luonnonkosteassa tilassa. Sitoutumiseen vaikuttaa edistävasti masuunihiekkaan sisältyvä rikki, joka on pääasiassa kalsiumsulfidina (CaS). Kalsiumsulfidi reagoi veden kanssa muodostaen kalsiumhydroksidia (Ca(OH)₂), joka toimii aktivaattorina. Masuunihiekan sitoutumisreaktio tapahtuu rakeen pinnalla ja pinnan rikkoutuessa reaktio käynnistyy uudella pinnalla. Näin masuunihiekkarakenne korjautuu mahdollisesta halkeamakohdasta, mikä mitoituksen kannalta on merkittävä tekijä rakenteen kestoikää ajatellen.

1.2.3 Ympäristövaikutukset

Masuunihiekka on kemiallisen koostumuksensa perusteella emäksinen materiaali, jota jatkojalostettuna käytetään myös magnesiumpitoisena kalkitusaineena maataloudessa. Vaikka masuunihiekka on vaikeammin liukeneva kuin esim. kalkkikivi, on sillä varsinkin hienorakeisena hapanta ympäristöä neutraloiva vaikutus.

Masuunihiekan happoliukoisen sulfaatin pitoisuus on alhainen (alle 0,1 %) rikin ollessa sitoutunut pääasiassa kalsiumsulfidiin, kuten edellä on todettu. Rikki on masuunihiekassa siis pelkistyneessä muodossa, mutta voi ilman vaikutuksesta hapettua pienessä määrin, jolloin voi muodostua viher-täviä, osin myös rikille haisevia yhdisteitä. Ilmiö on yleisempi ilmajäähdytetylle masuunikuonalle kuin vesijäähdytetylle masuunihiekalle ja sen vaikutus on ohimenevä.

Tehtyjen selvitysten perusteella masuunihiekka ei sisällä raskasmetalleja eikä muitakaan haitallisia sivuaineita, eikä siitä liukene ympäristöön vaarallisia aineita. /1, 2/

1.3 Masuunihiekan fysikaaliset ominaisuudet

1.3.1 Masuunihiekan tilavuuspaino

Masuunihiekan irtotilavuuspaino on 11,5 - 13,0 kN/m³ vesipitoisuuden vaihdellessa 3 - 8 % kuivapainosta laskettuna. Rakenneteoreettinen tilavuuspaino vaihtelee välillä 16,0 - 18,0 kN/m³. Proctor-sullonnalla määritetty maksimikuivatilavuuspaino masuunihiekalle on 18,0 - 18,5 kN/m³.

1.3.2 Masuunihiekan lämpötekniset ominaisuudet

1.3.2.1 Lämmönjohtavuus

Masuunihiekka on valmistustavasta johtuen huokoista, jonka vuoksi sillä on hyvät lämpötekniset ominaisuudet.

Masuunihiekan lämmönjohtavuus kasvaa vesipitoisuuden kasvaessa. Sitoutumattoman kuivan masuunihiekan lämmönjohtavuus on noin 0,2 W/mK ja noin 0,7 - 0,75 W/mK täysin vedellä kyllästytynä (taulukko 2). Täysin vedellä kyllästytynen masuunihiekan lämmönjohtavuus on jäätyneenä hieman suurempi kuin sulana. Tiiviiden ja sitoutumisen vaikutus masuunihiekan lämmönjohtavuuteen on vähäinen. /3/

Masuunihiekan lämmönjohtavuuden vaihtelu kyllästysasteen ja lämpötilan funktiona on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2: Sitoutuneiden (A) ja sitoutumattomien (B) näytteiden lämmönjohtavuus lämmönjohtosondilla määritettynä /3/

| | Näytteen ikä | Vesipitoisuus | Lämmönjohtavuus λ [W/mK] | | | |
|-----|--------------|---------------------------|----------------------------------|--------|-------|-------|
| | | | - 10 °C | - 1 °C | 0 °C | 20 °C |
| (A) | 1 kk | Kuiva | 0,195 | 0,197 | 0,200 | 0,215 |
| | | Käyttökosteudessa (w=5 %) | 0,409 | 0,414 | 0,337 | 0,378 |
| | | Kyllästynyt (w=24,3 %) | 0,973 | 0,769 | 0,512 | 0,682 |
| | 3 kk | Kuiva | 0,240 | 0,228 | 0,231 | 0,232 |
| | | Käyttökosteudessa (w=5 %) | 0,453 | 0,363 | 0,378 | 0,392 |
| | | Kyllästynyt (w=24,1%) | 0,747 | 0,797 | 0,422 | 0,598 |
| | 1 v | Kuiva | 0,220 | 0,213 | 0,219 | 0,222 |
| | | Käyttökosteudessa (w=5 %) | 0,431 | 0,333 | 0,420 | 0,441 |
| | | Kyllästynyt (w=25,2 %) | 1,059 | 1,019 | 0,679 | 0,762 |
| | 2 v | Kuiva | 0,201 | 0,210 | 0,211 | 0,227 |
| | | Käyttökosteudessa (w=5 %) | 0,258 | 0,233 | 0,215 | 0,294 |
| | | Kyllästynyt (w=20,4 %) | 0,901 | 1,120 | 0,558 | 0,571 |
| | 25 v | Kuiva | 0,220 | 0,253 | 0,258 | 0,278 |
| | | Käyttökosteudessa (w=5 %) | 0,384 | 0,352 | 0,325 | 0,374 |
| | | Kyllästynyt (w=23,1) | 0,856 | 0,948 | 0,677 | 0,696 |

| | Näytteen tiiviys (γ_d [kN/m ³]) | Vesipitoisuus | Lämmönjohtavuus λ [W/mK] | | | |
|-----|---|---------------------------|----------------------------------|--------|-------|-------|
| | | | - 10 °C | - 1 °C | 0 °C | 20 °C |
| (B) | Tiivistämätön (13,15) | Kuiva | 0,102 | 0,133 | 0,137 | 0,156 |
| | | Käyttökosteudessa (w=5 %) | 0,193 | 0,193 | 0,183 | 0,256 |
| | | Kyllästynyt (w=37,9 %) | 1,287 | 1,265 | 0,601 | 0,718 |
| | Keskitiivis (15,55) | Kuiva | 0,151 | 0,168 | 0,168 | 0,192 |
| | | Käyttökosteudessa (w=5 %) | 0,232 | 0,272 | 0,209 | 0,234 |
| | | Kyllästynyt (w=26,6 %) | 0,950 | 1,109 | 0,744 | 0,776 |
| | Tiivis (17,20) | Kuiva | 0,249 | 0,252 | 0,248 | 0,285 |
| | | Käyttökosteudessa (w=5 %) | 0,372 | 0,562 | 0,394 | 0,458 |
| | | Kyllästynyt (w=16,2 %) | 0,749 | 0,770 | 0,405 | 0,577 |

1.3.2.2 Lämpökapasiteetti

Masuunihiekan ominaislämpökapasiteetti voidaan laskea yhtälön (1) mukaisesti:

$$c = x_m c_m + x_v c_v + x_j c_j \quad (1)$$

| | | |
|-------|---|---------------------------------------|
| missä | x | on ainesosan massaosuus |
| | c | on ainesosan ominaislämpökapasiteetti |
| | m | on masuunihiekka |
| | v | on vesi |
| | j | on jää |

Lukuarvoina yhtälössä voidaan käyttää seuraavia arvoja: $c_m = 0,85 \text{ J/gK}$, $c_v = 4,19 \text{ J/gK}$ ja $c_j = 2,03 \text{ J/gK}$. Vesipitoisuus samoin kuin jään määrä vaikuttavat merkittävimmin lämpökapasiteetin suuruuteen.

1.3.3 Masuunihiekan hydrauliset ominaisuudet

1.3.3.1 Kapillaarisuus

Masuunihiekan kapillaarinen nousukorkeus vaihtelee 0,10 - 0,35 m. Sitoutumisajalla ja tiiviysasteella ei ole oleellista vaikutusta kapillaarisen nousukorkeuden suuruuteen /3/.

1.3.3.2 Vedenjohtavuus

Keinotekoiseen imeytykseen perustuvien mittausten mukaan (tensioinfiltrimetrimittaukset) masuunihiekan (sitoutunut ja sitoutumaton) vedenjohtavuus vaihtelee osittain kyllästyneessä tilassa $0,8...1,5 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$. Sitoutuminen ei pienennä merkittävästi vedenjohtavuutta. /3/

Sitoutumattoman kyllästyneen masuunihiekan vedenjohtavuus vaihtelee $1,5...4,0 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$. Sitoutuneen masuunihiekan kyllästyneen tilan vedenjohtavuus vaihtelee vastaavasti $1,0...1,6 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$. Suunnittelussa voidaan käyttää sekä sitoutumattomalle että sitoutuneelle masuunihiekalle vedenjohtavuuden arvoa $k = 3,0 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$. /3/

1.4 Masuunihiekan E-moduuli

Rakennekerroksena masuunihiekka toimii kenttäkokeiden perusteella sidottuna rakenteena. Sitoutumisen jälkeen kerroksen päältä mitatut levyykantavuudet ovat olleet suuria, jopa $> 1000 \text{ MN/m}^2$. Pudotuspainolaitteella mitatuista taipumista takaisinlaskennalla saadut E-moduulit ovat vaihdelleet $800...2000 \text{ MN/m}^2$.

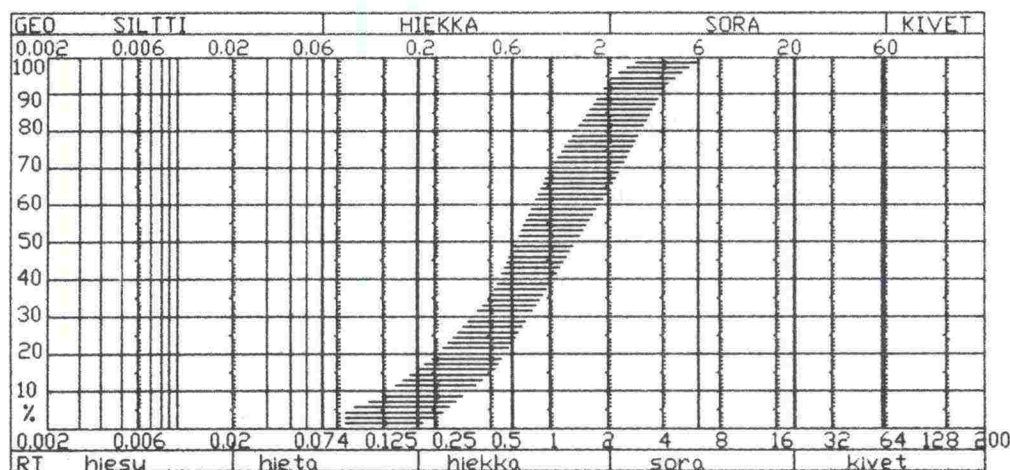
Kantavuusmitoituksessa masuunihiekan staattisena E-moduuliarvona käytetään alustavasti 600 MN/m^2 . Analyysisessä kestävyystarkastelussa masuunihiekan dynaamisena E-arvona käytetään alustavasti 800 MN/m^2 .

Koekohteissa masuunihiekkakerroksen paksuus on ollut 350...450 mm. Ohuempien kerrosten käyttäytymistä selvitetään vuonna 1993 tehdyn koe-

rakenteen perusteella ja laboratoriokokein. Niistä saatavat kokemukset otetaan aikanaan huomioon näitä ohjeita tarkistettaessa.

1.5 Rakeisuus

Masuunihiekan rakeisuus riippuu sulan kuonan lämpötilasta ja jäähtytykseen käytettävän veden paineesta. Suomessa masuunihiekka valmistetaan siten, että rakeisuus on kuvassa 3 esitetyllä ohjealueella.



Kuva 3: Rakeisuuden ohjealue

1.6 Laatuvaatimukset

Masuunihiekan fysikaaliset ominaisuudet ja sitoutumisherkkyys riippuvat kuonan kemiallisesta koostumuksesta ja valmistustavasta. Tätä julkaisua sovelletaan masuunihiekalle, jota valmistetaan kohdan 1.1 mukaisesti, jonka kemialliset ominaisuudet ovat kohdan 1.2 mukaiset ja jonka rakeisuus on kuvassa 3 esitetyllä ohjealueella.

2 MASUUNIHIEKASTA RAKENNETTAVIEN PÄÄLLYS- RAKENTEIDEN SUUNNITTELU JA MITOITUS

2.1 Suunnittelun ja mitoituksen perusteet

Masuunihiekalla rakentamisen suunnittelu ja mitoitus perustuu materiaalin teknisiin ominaisuuksiin. Nämä poikkeavat muista rakentamiseen käytettävistä materiaaleista. Masuunihiekan mitoituksessa huomioidaan materiaalin lämpötekniset ominaisuudet routimisen kannalta ja sitoutumisen aikaansaama kantavuus.

Tässä julkaisussa routamitoitus ja kuormitusmitoitus on esitetty sekä perinteisellä että analyyttisellä mitoitusmenetelmällä (kohdat 2.4.1 ja 2.4.2).

2.2 Alusrakenne

Alusrakenteen suunnittelussa käytetään tielaitoksessa voimassa olevia ohjeita /4/.

2.3 Päällysrakenne

2.3.1 Suodatinkerros

Suodatinkerros tulee tehdä teiden suunnitteluohjeiden mukaisesti. Mikäli suodatinkerros tehdään masuunihiekasta, masuunihiekkakerroksen mitoituksessa tulee huomioida suodatinkerroksena toimivan materiaalin osuus.

Mikäli on odotettavissa pohjamaan ja suodatinkerroksen sekoittumisvaara, käytetään niiden välissä suodatinkangasta.

Tien parantamisen yhteydessä suodatinkerroksena toimii massanvaihdon alle mahdollisesti jäävät tien vanhat rakennekerrokset.

2.3.2 Masuunihiekkakerros

Masuunihiekkakerros toimii päällysteen alla sitoutuneena, kuormia jakavana ja lämpöä eristävänä kerroksena. Masuunihiekkakerroksen routamitoitus tehdään kohdan 2.4.1 mukaan. Rakenteen kuormitusmitoitus tehdään kohdan 2.4.2 mukaan.

2.3.3 Päällysteen alusta

Päällysteen alusta varmistaa päällysteen tarttumisen alustaan ja helpottaa liikkumista ennen päällystämistä. Kerrosmateriaalina käytetään:

- masuunikuonamursketta 0 - 10...32 mm, kerrospaksuus 100 mm tai
- humusvapaata luonnonmursketta 0 - 18...32 mm, kerrospaksuus 100 mm, johon sekoitetaan alla olevaa masuunihiekkaa noin 20 - 30 mm /5/ tai

- humuspitoista luonnonmursketta 0 - 18...32 mm, kerrospaksuus 100 mm, jolloin masuunihiekka aktivoidaan poltetulla kalkilla tai sementillä sekoituksen yhteydessä.

2.4 Mitoitus

2.4.1 Routamitoitus

Tässä ohjeessa routamitoitus esitetään sekä tielaitoksen perinteisesti käyttämän että analyyttisen mitoitusmenetelmän mukaisesti. Tielaitoksen mitoitusmenetelmässä masuunihiekkakerroksen paksuus määritetään pakkasmäärän ja roudan sallitun tunkeutuman perusteella. Analyyttisellä menetelmällä voidaan routasyvyyden lisäksi määrittää routanousu pakkasmäärän ja pohjamaan perusteella.

2.4.1.1 Routamitoituksen periaatteet

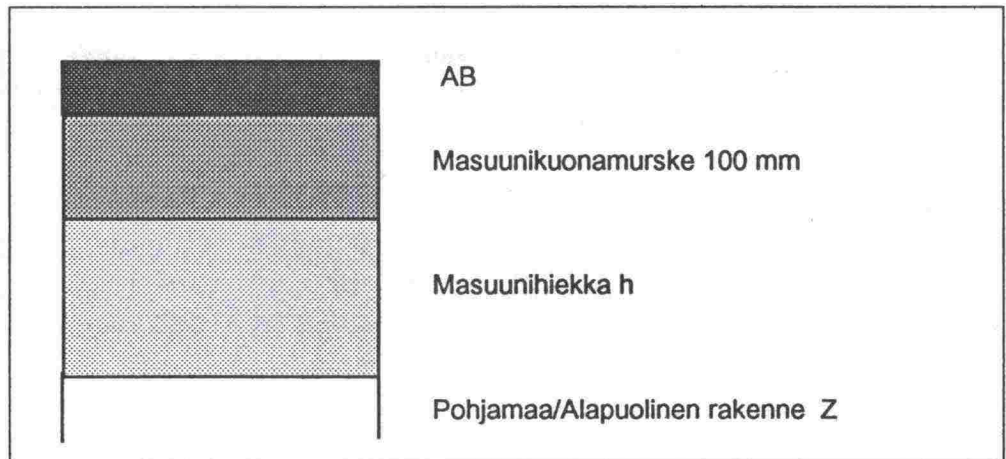
Pohjamaan routimisesta ja sulamisesta aiheutuu rakenteisiin siirtymiä, jotka ilmenevät halkeamina ja epätasaisuuksina tien pinnassa. Routineen maan sulaminen keväällä alentaa maapohjan kantavuutta. Tien routamitoituksen keskeisenä periaatteena on routimisen teknis-taloudellinen tarkastelu. Routimisen rajoittamisen kustannusten tulee olla oikeassa suhteessa vaurioiden esiintymistodennäköisyyteen ja haitallisuuteen sekä vaurioiden korjauskustannuksiin. Routamitoituksella pyritään rajoittamaan routanousueroja tien pinnan epätasaisuuksien ja halkeamien vähentämiseksi. Roudan sulamisen aiheuttama kantavuuden lasku otetaan huomioon kevätkantavuuteen perustuvassa kantavuusmitoituksessa. Routamitoituksen lähtökohtana on tien luokka sekä maaperä- ja pohjavesisuhteet. /6/

2.4.1.2 Mitoitus routasyvyyden perusteella

Masuunihiekasta tehtävä lämpöeristerakenne voidaan mitoittaa rajoittamalla roudan syvyyttä masuunihiekkakerroksen alapuolella tielaitoksen suunnitteluohjeita vastaavalla tavalla. Masuunihiekkakerroksen paksuus voidaan valita tällöin taulukon 3 mukaisesti.

Taulukko 3: Masuunihiekkakerroksen paksuuden (h) määrittäminen roudan tunkeutumisen perusteella masuunihiekkakerroksen alapuoliseen rakenteeseen (Z)

| Roudan sallittu tunkeuma MaHk-kerroksen alapuolella Z [cm] | Pakkasmäärä [Kh] | | | |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | 20 000 h [cm] | 30 000 h [cm] | 40 000 h [cm] | 50 000 h [cm] |
| 0 | 80 | 110 | 135 | 160 |
| 20 | 50 | 75 | 95 | 120 |
| 50 | 30 | 45 | 65 | 80 |
| 70 | 20 | 35 | 50 | 65 |
| 80 | 15 | 30 | 45 | 55 |
| 100 | 10 | 20 | 35 | 45 |
| 130 | 5 | 15 | 25 | 35 |



Kuva 4: Tien rakenne

Huomautukset:

- taulukossa 3 on roudan syvyys routivaan pohjamaahan laskettu siten, että pohjamaan maalajiolosuhteet ja routaolosuhteet ovat vaikeat
- routaolosuhteilla (kuten pohjaveden asema, maalaji ja sen vesipitoisuus) on suuri merkitys roudan syvyyteen
- tielaitoksen käyttämä routamitoitus routimisen rajoittamiseksi sallii roudan tunkeutuvan pohjamaahan noin 50 cm /6/.

2.4.1.3 Mitoitus sallitun routanousun avulla

Routanousun laskemiseen käytetään yleensä numeerisia, yhdistettyyn massan ja lämmön siirtymiseen perustuvia laskentamalleja. Näiden avulla saadaan routimisen aikainen ja jälkeinen siirtymä, sekä kosteus- ja lämpötila ajan ja paikan funktiona. Maan jäätyminen ja sulamisen mallintaminen vaatii aineen ja energian säilymistä, lämmön ja veden siirtymistä sekä maaperän ominaisuuksia kuvaavien muuttujien välisten vuorosuhteiden ratkaisemista. Routanousun numeerisista laskentamalleista on eniten käytetty ns. CRREL:in mallia.

Routanousun laskemiseen on käytetty myös routimisen voimakkuutta kuvaavaa ns. segregatiopotentialikäsitetä /7/. Käsite perustuu kokeellisiin mittauksiin, joiden mukaan jäälinsiiin virtaavan veden määrä on suoraan verrannollinen vallitsevaan jäätyneen kerroksen lämpötilagradienttiin yhtälön (2) mukaisesti.

$$v(t) = SP(t) * gradT(t) \quad (2)$$

| | | |
|-------|------------|---|
| missä | $gradT(t)$ | on osittain jäätyneen kerroksen lämpötilagradientti |
| | $v(t)$ | on routanousunopeus |
| | $SP(t)$ | on segregatiopotentiali |

Segregatiopotentiali voidaan määrittää joko laboratoriossa suoritettavien routanousukokeiden avulla tai in situ mittauksin, kun tunnetaan osittain jäätyneen maakerroksen lämpötilagradientti sekä veden virtaamisnopeus (tai routanousunopeus) jäätymisrintamaan. Veden virtausnopeus voidaan

laskea routanousunopeudesta ottamalla huomioon veden laajeneminen sekä sulan maan huokoisuus ja segregaatilämpötilassa sulana pysyvän veden määrä. Roudan syvyys voidaan laskea tavanomaisilla kerroksellisen rakenteen roudan syvyyden laskentamenetelmillä.

Segregaatiopotentiaalin suuruus riippuu sekä maalajiominaisuuksista että olosuhdetekijöistä (kuormitus, pohjavedenkorkeus). Taulukossa 4 on esitetty laboratoriossa routanousukokeiden avulla määritettyjä tyypillisiä segregatiopotentiaalin arvoja suomalaisille maalajeille. **Vaativissa ja epävarmoissa tapauksissa suositellaan routanousukokeen tekemistä segregatiopotentiaalin varmistamiseksi.**

Taulukko 4: Routanousukokeiden avulla määritettyjä eri maalajien segregatiopotentiaalien arvoja

| Maalaji | Segregaatiopotentiaali SP_0 [mm ² /Kh] |
|---------|--|
| Savi | 3,5...10,0 |
| Siltti | 2,0...7,5 |
| Hiekka | 0,1...1,0 |
| Moreeni | 2,0...6,0 |

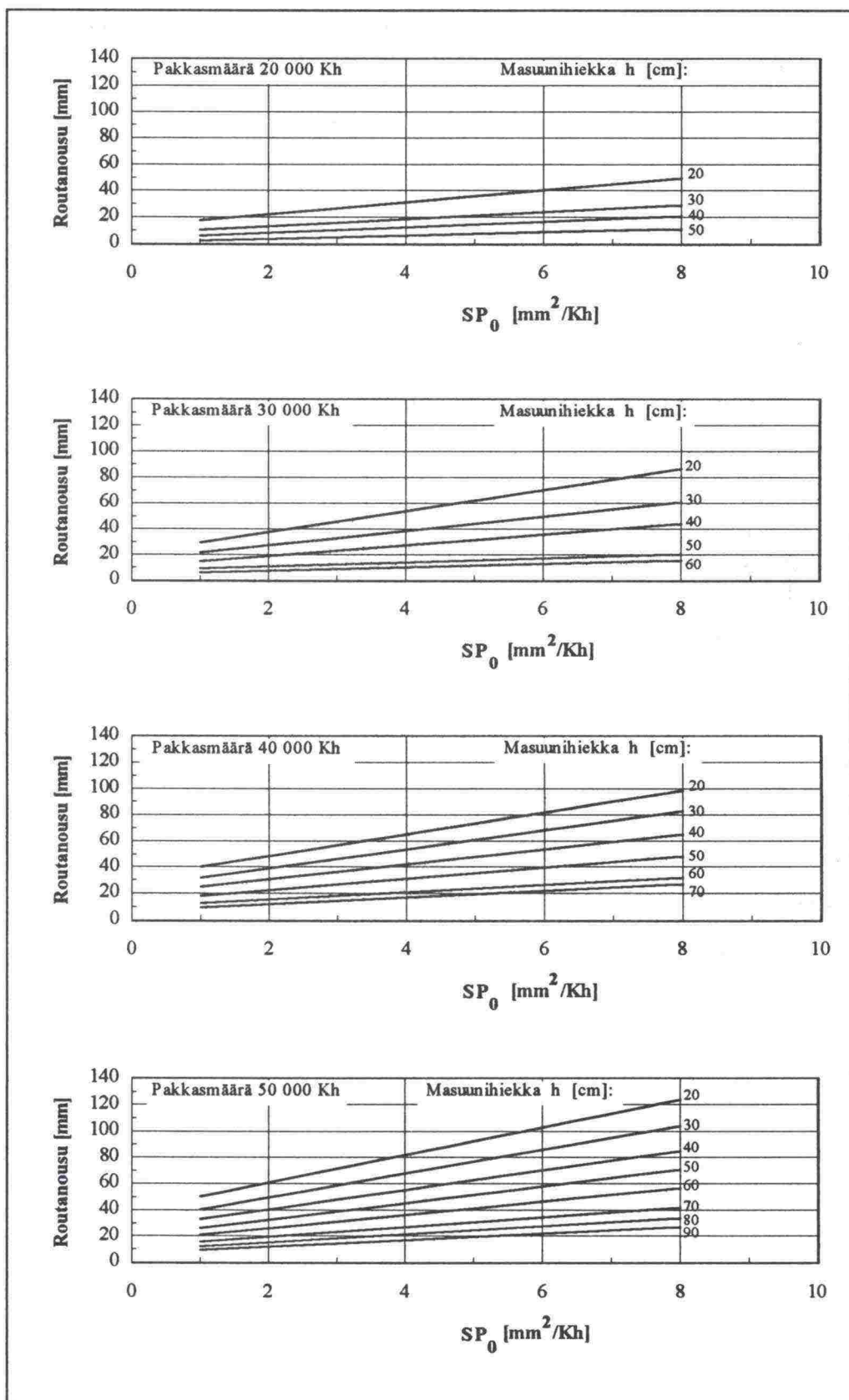
Tien routamitoitus voidaan suorittaa tämän jälkeen sallitun routanousun ja mitoitettavaksi valittavan pakkasmäärän perusteella. Kuvassa 5 on esitetty käyrästöt masuunhiekan paksuuden määrittämiseksi em. tavalla.

On huomattava, että eo. mitoituksessa esitetyt routanousuarvot ovat pelkästään suuruusluokkaa kuvaavia arvoja. **Sitoutuneen masuunhiekkarakenteen osalta ei oteta huomioon laattavaikutusta, jonka routanousua pienentävä vaikutus voi olla huomattava.** Tarkkojen laskelmien suorittaminen edellyttää kuitenkin numeeristen laskentamallien käyttöä. Menetelmät ovat vielä kehitysvaiheessa käytännön routamitoitusta ajatellen.

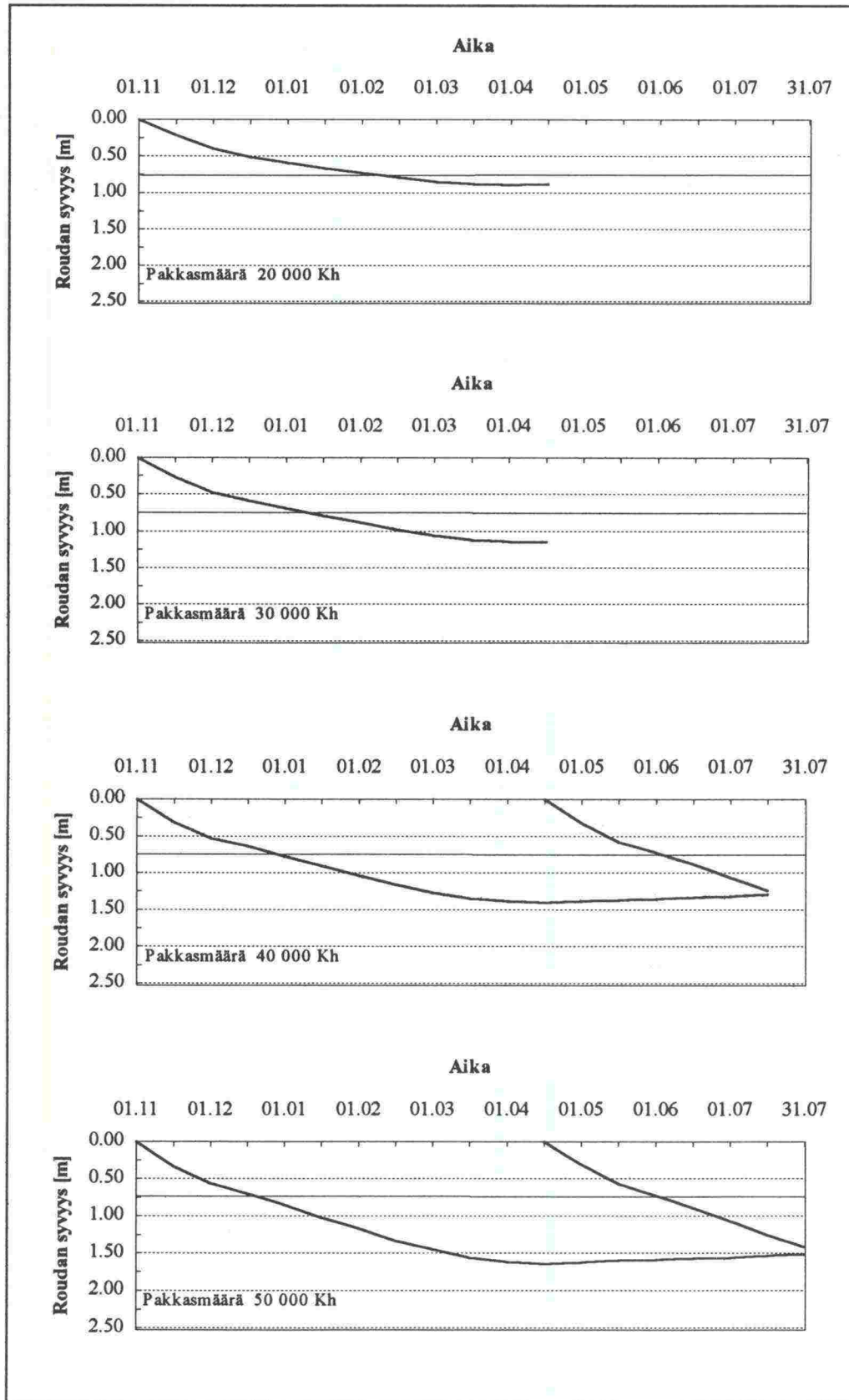
2.4.1.4 Roudan syvyys analyttisessä mitoituksessa

Mitoittavana pakkasmääränä käytetään pakkasmääriä 20 000 - 50 000 Kh. Pakkaskauden pituus on kaikilla pakkasmäärillä 5,5 kk ja lämpötilan oletetaan jakautuvan pakkaskauden aikana sinifunktion muotoisesti. Routivan pohjamaan segregatiopotentiaali vaihtelee $SP_0 = 0,5 - 8,0 \text{ mm}^2 \text{ Kh}$. Tien rakennekerrokset oletetaan routimattomiksi.

Roudan syvyys on laskettu 1-dimensionaalisella laskentaohjelmalla (GEL 1D). Tuloksista saadaan roudan syvyys sekä jäätymiseen ja sulamiseen kulunut aika (kuva 6). Routasyvyys on laskettu pohjamaalle, jossa routasyvyys on syvimmillään (routasyvyyden maksimi-arvo).



Kuva 5: Masuunihiekkakerroksen routanousun suuruus pakkasmäärän, pohjamaan routivuuden (SP₀) ja masuunihiekkakerroksen paksuuden funktiona



Kuva 6: Masuunihiekkarakenteen roudan syvyys vuodenajan ja pakkasmäärän funktiona. (Rakenne AB 50 mm, MaKuM 100 mm, MaHk 400 mm, Hk 200 mm yhteensä 750 mm)

Jos masuunihiekkakerroksen paksuus poikkeaa käytetystä kerrospaksuudesta 40 cm, voidaan masuunihiekkakerroksen paksuuden vaikutus roudan syvyyteen ottaa huomioon taulukon 5 mukaisilla kertoimilla.

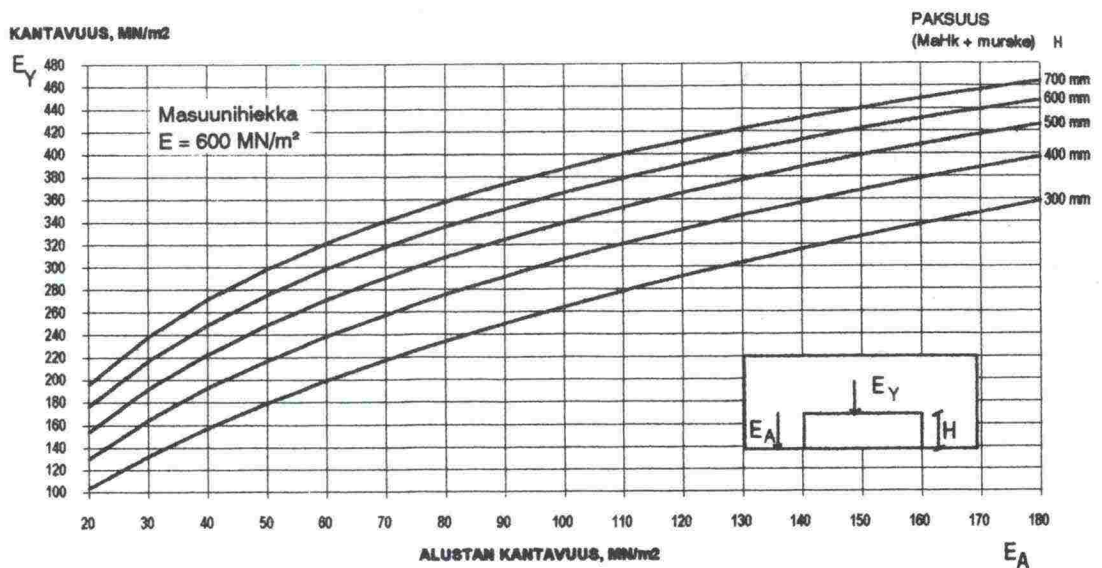
Taulukko 5: Roudan syvyyden muuntokertoimet masuunihiekkakerroksen eri paksuuksille. Rakenne kuvan 6 mukainen.

| Rakenne | F = 20 000 Kh | F = 30 000 Kh | F = 40 000 Kh | F = 50 000 Kh |
|------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| d = 200 mm | 1,13 | 1,18 | 1,19 | 1,19 |
| d = 300 mm | 1,04 | 1,07 | 1,07 | 1,08 |
| d = 400 mm | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| d = 500 mm | 1,00 | 0,97 | 0,95 | 0,95 |
| d = 600 mm | 1,00 | 0,96 | 0,93 | 0,92 |

2.4.2 Kuormitusmitoitus

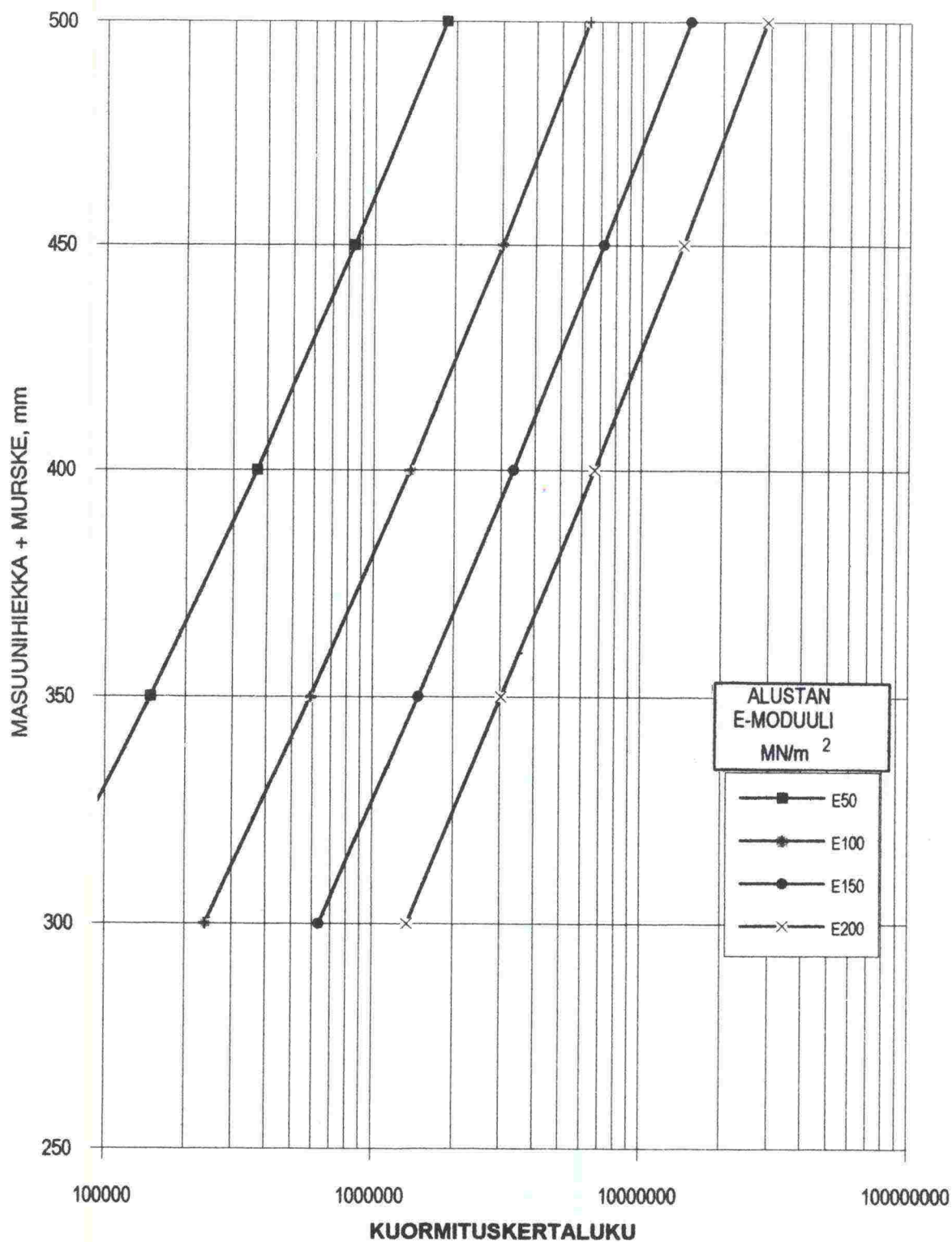
Masuunihiekka on sidotun ja sitomattoman materiaalin välimuoto. Sen käyttäytyminen poikkeaa oleellisesti esim. maabetonin käyttäytymisestä tierakenteessa. Sementillä sidotuille materiaaleille on tyypillistä kutistumisen aiheuttamat jännitykset. Näin ollen masuunihiekkarakenteille ei voida soveltaa suoraan sementillä sidotuille materiaaleille kehiteltyjä kestävyyskriteerejä.

Masuunihiekan kuormitusmitoitus on mahdollista tehdä perinteisesti kantavuusmitoituksena (kuva 7) tai liikennekuormituksen aiheuttamiin kriittisiin rasituksiin perustuvana kestävyystarkasteluna (kuva 8). Masuunihiekkarakenteen paksuudella tarkoitetaan mitoituskäyrästäissä masuunihiekan ja sen yläpuolisen murskekerroksen yhteispaksuutta (100 mm).



Kuva 7: Masuunihiekan kantavuusmitoitus

ANALYYTTINEN MITOITUS



Kuva 8: Masuunihiekan kantavuusmitoitus jännitys-/muodonmuutostarkastelun mukaisesti

Kantavuusmitoituksen perusteena ovat tielaitoksen voimassa olevien suunnitteluohjeiden mitoitusperiaatteet /8/. Kantavuusmitoituksen lähtökohtana ovat alustan kantavuus, käytettävän materiaalin laatu ja vaadittava taivotekantavuus.

Kenttä- ja laboratoriokokeiden perusteella käytetään masuunihiekan staatisen kimmomoduulin arvona 600 MN/m^2 .

Masuunihiekkakerroksen päältä saavutettava kantavuus saadaan alusrakenteen kantavuuden ja masuunihiekkakerroksen paksuuden mukaan mitoituskäyrästä (kuva 7).

Toinen mahdollisuus masuunihiekkarakenteen mitoittamiseksi on ns. analyttinen mitoitusmenettely. Tässä ohjeessa on jännitys-/muodonmuutos-tarkastelun lähtökohdaksi otettu masuunihiekkakerroksen alapuolisen kerroksen puristusmuodonmuutosten rajoittaminen. Käytetty kriteeri on Asphalt Institutin kehittämä ja sen sallimat alustan puristusmuodonmuutokset ovat pienimpiä yleisesti käytössä olevista kestävyyskriteereistä. Mitoitus tehdään Shellin Bisar-ohjelmalla. Siinä lasketaan pyöräkuorman tierakenteeseen aiheuttamat kriittiset jännitykset ja muodonmuutokset. Masuunihiekkarakenteen kriittisenä rasituksena voidaan pitää masuunihiekkakerroksen alapinnan taivutusvetojännitystä. Dynaamisen moduulin arvona on laskelmissa käytetty 800 MN/m^2 .

Masuunihiekan mitoituskriteeriksi on valittu alustalle sallittava puristusmuodonmuutos (Asphalt Institute), katso esim. Ullidtz P., Pavement Analysis. Rajoittamalla masuunihiekan alustana olevan kerroksen puristusmuodonmuutosta, rajoitetaan samalla myös itse masuunihiekkakerroksen alapintaan syntyviä jännityksiä.

Analyttisessä mitoituksessa käytetään masuunihiekkakerroksen alustalle ns. dynaamista E-moduuli arvoa. E-moduuli määritetään yleensä CBR-kokeen avulla. Taulukossa 6 on esitetty tielaitoksen kantavuusmitoituksen maalajiluokittelu sekä sitä vastaava USCS-luokitus ja maalajien E-moduulit.

Mitoituskäyrästä on laadittu siten, että masuunihiekkakerroksen paksuus saadaan mitoitettua kuormituskertaluvun ja masuunihiekkakerroksen alustan E-moduulin avulla. Päällysteeksi on oletettu AB 50 mm tai ÖS 40 mm. Mitoituskäyrästä on esitetty kuvassa 8.

Taulukko 6: Alusrakenteen kantavuus ja E-moduuli eri maalajeilla

| Kantavuusmitoitus Alusrakenteen kantavuusluokka | | | | Analyttinen mitoitus Alustan E-moduulin luokittelu maalajin mukaan | |
|--|---|---------|--------------------------------|---|---|
| MAALAJI | LYHENNE | LUOKKA | KANTAVUUS MN/m ² | LUOKKA | ALUSTAN E-MODUULI MN/m ² |
| Kallio | Ka (kallio) Lo (louhe) M (murske) | A | 300 | GW | 300 |
| Kivet | Ki | A | 300 | | |
| Sora | Sr | B | 200 (150...280) | GP | 300 |
| Soramoreeni | rton SrMr routiva SrMr | C E | 100 (70...150) 20 (15...35) | GM, GC | 200 50 |
| Hiekka | rton kaHk | C | 100 (70...150) | SW | 200 |
| | rton keHk | D | 50 (35...70) | SP | 100 |
| | rton hHk | D (E) | 50 (35...70) | SP | 100 |
| | routiva keHk | E | 20 (15...35) | SM, SC | 50 |
| | routiva hHk | E (F) | 20 (15...35) | | |
| Hiekkamoreeni | rton HkMr | D (E) | 50 (35...70) | SP | 100 |
| | routiva HkMr | E (F) | 20 (15...35) | SM, SC | 50 |
| Siltti | Si | F (G,E) | 10 (5...15) | OL | 20 |
| Silttimoreeni | SiMr | | | | |
| Savi | kuivakuori Sa | E | 20 (15...35) | CL | 50 |
| | sitkeä Sa | F(E) | 10 (5...15) | OL | 20 |
| | pehmeä Sa | G | 5 | MH-OH | 10 |
| Lieju | Lj | G | 5 | Pt | 10 |
| Turve | Tv | | | | |

2.5 Mitoitusesimerkki

Tehtävänä on mitoitaa päällysrakenne käyttäen masuunihiekkaa, kun lähtötiedot ovat seuraavat:

- tien vaatimustaso 2
- uusi rakennettava tie
- pohjamaa hiekkamoreenia
- pakkasmäärä $F = 40\,000\text{ Kh}$
- sallittu routanousu 20 mm
- päällysrakenneluokka 4 AB
- rakenteen mitoitusikä 20 vuotta
- kuormituskertaluku 1 000 000.

Routamitoitus

Koska lähtökohtana on annettu sallittu routanousu, voidaan tehtävä ratkaista analyttisellä mitoituksella (kuva 5).

Koska hiekkamoreenin segregatiopotentiaalia ei ole määritetty routanousukokeella, valitaan segregatiopotentiaaliksi taulukon 4 perusteella $SP_0 = 3,0\text{ mm}^2/\text{Kh}$.

Kuvan 5 mukaan masuunihiekkakerroksen paksuus 20 mm:n routanousulla on 550 mm (pakkasmäärä 40 000 Kh).

Näin ollen rakenne on seuraavanlainen:

- masuunikuonamurske 100 mm
- masuunihiekka 550 mm.

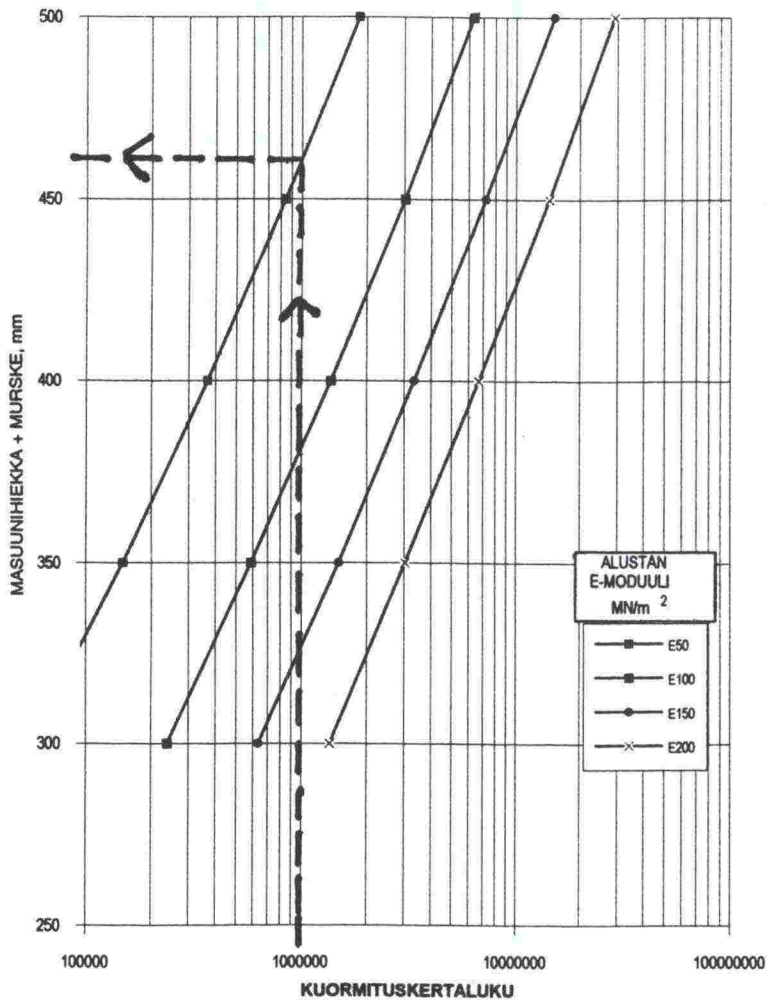
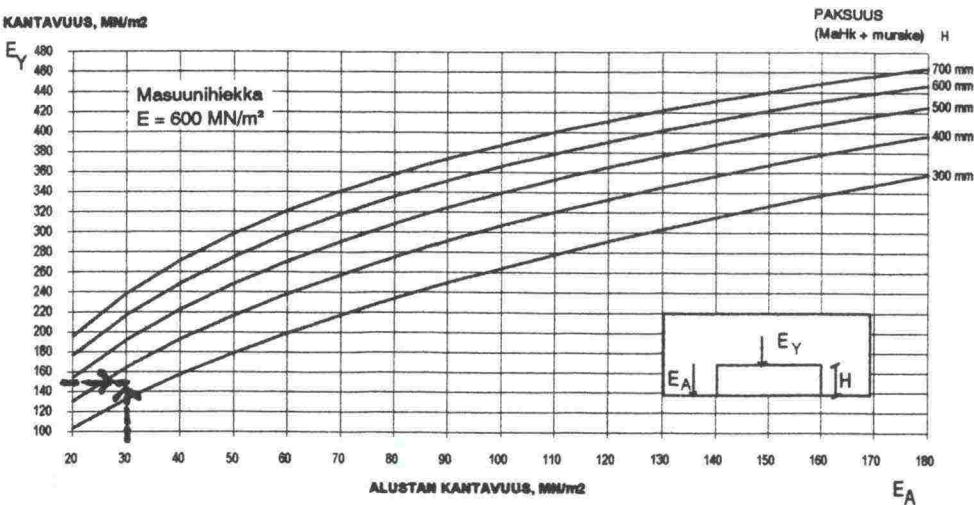
Kantavuusmitoitus

Kantavuusmitoitus suoritetaan perinteisellä tavalla kuvan 7 avulla:

Kantavuusvaatimus päällysrakenneluokassa 4 AB on 150 MPa kantavan kerroksen päältä /8/ ja alustan kantavuus 30 MPa (taulukko 6), kun pohjamaa on hiekkamoreenia. Täten rakenteen kokonaispaksuuden on oltava 350 mm (esimerkki kuvassa 9). Routamitoituksessa saadut rakennepaksuudet ovat suuremmat, joten kantavuusvaatimus ylittyy.

Määritetään kantavuus myös analyyttisellä mitoitustavalla kuvan 8 avulla. Alustan dynaaminen E-moduuli on 50 MPa (taulukko 6). Kuormituskertaluku on 1 000 000. Näin ollen kuvan 8 perusteella rakenteen kokonaispaksuus on kantavuusvaatimuksen osalta oltava 460 mm (esimerkki kuvassa 9).

Tässä tehtävässä routamitoitus määräsi rakenteen kokonaispaksuudeksi 650 mm.



Kuva 9: Kantavuusmitoitus perinteisen tavan ja analyttisen menetelmän avulla (esimerkki)

II RAKENTAMISEN TYÖSELITYS

1 OHJEEN SOVELTAMINEN

Tätä työselitystä sovelletaan päällysrakenteissa, joissa masuunihiekkarakennetta käytetään tien kantavuuden parantamiseksi tai/ja lämpöeristeeksi. Koska masuunihiekka on uutta tierakennusmateriaalina ja käyttökokeemukset ovat vähäisiä, on työselitystä pidettävä osittain ohjeellisena. Työselitys tarkentuu tutkimusten ja materiaalin käyttökokemusten myötä.

2 VARASTOINTI JA KULJETUS

Masuunihiekkaa voidaan varastoida suojaamatta, kun materiaalin päällä ei ajeta työkoneilla varastoinnin yhteydessä. Pitkäaikainen varastointi tai varastoinnin yhteydessä tapahtuva tiivistyminen voivat aiheuttaa materiaalin paakkuuntumista. Lievästä paakkuuntumisesta ei massiivirakenteessa ole juuri haittaa, vaan paakut hajoavat rakenteessa levityksen ja tiivistämisen yhteydessä. Kuljetuksia voidaan suorittaa tehtaiden ympäristöissä kuorma-autoilla ja kauko-kuljetuksina proomulla tai laivalla. Liitteessä 1 on esitetty ohjeelliset materiaalihinnat vuoden 1993 hintatasossa.

3 ALUSRAKENNE

Pengerrakenteiden rakentamisessa sovelletaan tierakennustöiden yleisiä laatuvaatimuksia ja työselityksiä.

4 PÄÄLLYSRAKENNE

4.1 Suodatinkerros

Suodatinkerros rakennetaan soveltaen tienrakennustöiden yleisiä laatuvaatimuksia ja työselityksiä. Mikäli suodatinkerros tehdään masuunihiekasta, rakennetaan se masuunihiekkakerroksen teon yhteydessä. Suodatinkangas asennetaan ohjeiden mukaisesti.

Vanhaa päällysrakennetta lämpöeristettäessä puretaan kerroksia niin, että päälle rakennettavasta masuunihiekkakerroksesta tulee tasavahvuinen. Masuunihiekan alle jäävän kerroksen pinta on oltava tierakennustöiden yleisissä laatuvaatimuksissa ja työselityksissä esitettyjen jakavalle kerrokselle sallittujen poikkeamien rajoissa, taulukko 7. /9/

Taulukko 7: Jakavalle kerrokselle sallitut poikkeamat /9/

| Jakavan kerroksen tarkkuusvaatimukset | |
|---------------------------------------|------------|
| Yläpinnan sijainti | - + 100 mm |
| Yläpinnan leveys | 0...100 mm |
| Yläpinnan taso | 0...-40 mm |
| Sallittu epätasaisuus | 30 mm/5 m |
| Sallittu kaltevuuspoikkeama | 1 % |

4.2 Masuunihiekkakerros

Masuunihiekkakerros toimii päällysteen alla sidottuna, kuormia jakavana ja lämpöä eristävänä kerroksena.

4.2.1 Rakentaminen

Masuunihiekkakerros rakennetaan suodatinkerroksen päälle päätypenke-reenä. Masuunihiekkakerros voidaan rakentaa myös talvella, ellei suoda- tinkerroksen alapuolinen routiva pohjamaa ole merkittävästi jäätynyt. Ma- suunihiekkakerrokseen ei saa sekoittua työn aikana lunta eikä jäätä. Jos pohjamaa on päässyt jäätymään, masuunihiekkakerros voidaan rakentaa vasta kesällä roudan sulamisen jälkeen. Suodatinkerroksen päältä on täl- löin suoritettava tehokas jälkitiivistäminen.

Tasaamisen ja työkoneella tehdyn kevyen tiivistämisen jälkeen kerroksen päällä voi liikkua kuormatulla autolla, jos tasaaminen tehdään pyöräkuor- maajalla tai tiehöylällä. Työmaanaikainen yleinen liikenne voidaan myös ohjata kerroksen päälle. Kerroksen pinta tulee tehdä lopulliseen tasoon ja muotoon sekä tiivistää valssijyrällä (2 ylityskertaa). Kerroksen tiivistämi- nen helpottaa työnaikaisen liikenteen hoitoa.

4.2.2 Masuunihiekkakerroksen laatuvaatimukset

Työkohteessa materiaalia vastaanotettaessa on todettava, että materiaali on laatuvaatimukset täyttävää ja ettei varastoinnin yhteydessä ole tapahtunut kerroksen rakentamista haittaavaa paakkuuntumista.

Kerroksen rakentamisen yhteydessä varmistetaan, että tässä työselitykses- sä tarkoitettu laatu saavutetaan.

Masuunihiekan materiaaliominaisuuksiin kuuluu, että kerroksen rakenta- misen yhteydessä ei saavuteta vaatimusten mukaista kantavuutta. Kanta- vuus kehittyy kuitenkin kesä kautena materiaalin sitoutumisen myötä 2 - 3 kuukaudessa lähes lopulliseen arvoonsa.

4.3 Päällysteen alusta

Masuunihiekkakerroksen pinnassa on aina irtonaista masuunihiekkaa, joka "rullaa" päällysteen levityksen yhteydessä ja estää päällystemassan tarttu- misen alustaan. Tämän takia on masuunihiekkakerroksen päälle ennen päällystämistä tehtävä päällysteen alustaksi ohut kerros murskeesta tai

sepelistä. Kerros rakennetaan tierakennustöiden yleisten laatuvaatimusten ja työselitysten kantavalle kerrokselle sallittujen poikkeamien rajoissa, taulukko 8. /8/

Taulukko 8: Kantavalle kerrokselle sallitut poikkeamat /8/

| Kantavan kerroksen tarkkuusvaatimukset | |
|--|--------------|
| Yläpinnan sijainti | - + 100 mm |
| Yläpinnan leveys | 0...100 mm |
| Yläpinnan taso | -20...+20 mm |
| Sallittu epätasaisuus | 20 mm/5 m |
| Sallittu kaltevuuspoikkeama | 0,5 % |

4.3.1 Päällysteen alustana luonnonmateriaali

Humusvapaata mursketta (tai sepeliä) 0 - 18...32 mm levitetään masuunihiekkakerroksen päälle 100 mm:n kerros raekoosta riippuen. Murskekerros sekoitetaan allaolevan masuunihiekkakerroksen pintaan jyrsimellä tai tavallisella jousiäkeellä. Pinta tiivistetään kumipyöräjäyrällä (2 - 3 ylityskertaa). Humuspitoista mursketta (humuspitoisuus värin perusteella 2) käytettäessä tulee neutraloimiseen käyttää sammuttamatonta kalkkia tai sementtiä suunnitelmassa esitetty määrä.

Kevyen liikenteen teillä käytetään ohutta (2 - 3 cm) murskekerrosta (tai sepeliä) päällysteen alustana sekoittamatta sitä masuunihiekkakerrokseen (materiaalin humuspitoisuudella ei näin ohuessa kerroksessa ole merkitystä). Pinta tiivistetään kumipyöräjäyrällä (2 - 3 ylityskertaa) tai valssijäyrällä (2 ylityskertaa).

4.3.2 Päällysteen alustana masuunikuonamurske

Päällysteen alustaksi levitetään masuunikuonamursketta 0 - 10...32 mm 100 mm:n kerros ja tasataan lopulliseen muotoon sekä tiivistetään kumipyöräjäyrällä (2 - 3 ylityskertaa) tai valssijäyrällä (2 ylityskertaa). Pinta tiivistyy ja sitoutuu liikenteen alla kovaksi ja tasaiseksi. Ennen päällystämistä on pinta karhennettava tiehöylän tappiterällä. Tämän jälkeen pinta tiivistetään kumipyöräjäyrällä (1 - 2 ylityskertaa) tai valssijäyrällä (1 ylityskerta).

4.4 Päällystäminen

Päällystäminen voidaan suorittaa noin kuukauden kuluttua masuunihiekkarakenteen tekemisestä. Kantavuusvaatimukset päällysteen alustalle on esitetty tierakennustöiden yleisissä laatuvaatimuksissa ja työselityksissä.

Kevyen liikenteen teillä päällystäminen voidaan suorittaa tarvittaessa välittömästi kerrosten rakentamisen jälkeen, koska kuormitukset ovat pieniä. Sitoutumisprosessin edistämiseksi suositetaan masuunihiekkakerroksen kastelemista ennen päällystämistä.

5 TYÖNAIKAINEN LIIKENNE

Masuunihiekkakerroksen päälle voidaan ohjata työnaikainen yleinen liikenne heti kerroksen levittämisen ja alkutiivistämisen jälkeen. Pinnan kunnossapitoon riittää ajoittainen pinnan tasaus. Valmistusprosessista johtuen masuunihiekka ei sisällä pölyävää hienoainesta, joten pölynsidontaa ei juuri tarvita.

Kuonamurskeesta tehty päällysteen alusta kestää hyvin pitkäaikaistakin liikennettä. Mahdolliset pinnan korjaustyöt on tehtävä tiehöylän tappiterällä. Mahdolliseen pölynsidontaan käytetään normaaleja menetelmiä ja aineita.

LÄHDELUETTELO

- /1/ Sorateiden kelirikkovaurioiden korjaaminen, väliraportti III: Materiaalitutkimuksia jalostetuista teollisuuden sivutuotteista. 1992. Kuopio. 76 s. Tielaitos, Kuopion tuotantotekninen kehitysyksikkö. (Tiehallituksen sisäisiä julkaisuja 51/1992)
- /2/ Kloridin liukeneminen kuonasta. Tutkimusraportti. 1993. Rautaruukin tutkimuskeskus.
- /3/ Harju-Autti, P. & Viljas, P. 1993. Masuunihiekan lämpötekniset ja hydrauliset ominaisuudet. Oulu. 31 s. (Oulun yliopiston geotekniikan laboratorion julkaisuja nro 15) ISBN 951-42-3615-7, ISSN 0785-2142
- /4/ Alusrakenne. Julk.: Tie- ja vesirakennushallitus. Teiden suunnittelu. TVL:n ohjeet. Helsinki. Kansio B osa IV.
- /5/ Päälystetyn tien parantaminen. Sitomattomien kerrosten käyttö. Rakenteen parantaminen. Julk.: Tie- ja vesirakennushallitus. Teiden suunnittelu. TVL:n ohjeet. Helsinki. Kansio B osa IV.
- /6/ Alusrakenne. Routimisen rajoittaminen. Julk.: Tie- ja vesirakennushallitus. Teiden suunnittelu. TVL:n ohjeet. Helsinki. Kansio B osa IV.
- /7/ Konrad, J.M. 1980. Frost heave mechanics. Ph.D. Thesis University of Edmonton Alberta . 472 s.
- /8/ Päälysrakenne. Julk.: Tie- ja vesirakennushallitus. Teiden suunnittelu. TVL:n ohjeet. Helsinki. Kansio B osa IV.
- /9/ Penger- ja kerrosrakenteet. Tienrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset. 1991. Helsinki. 45 s. ISBN 951-47-4349-0, TIEL 2212460

KIRJALLISUUTTA

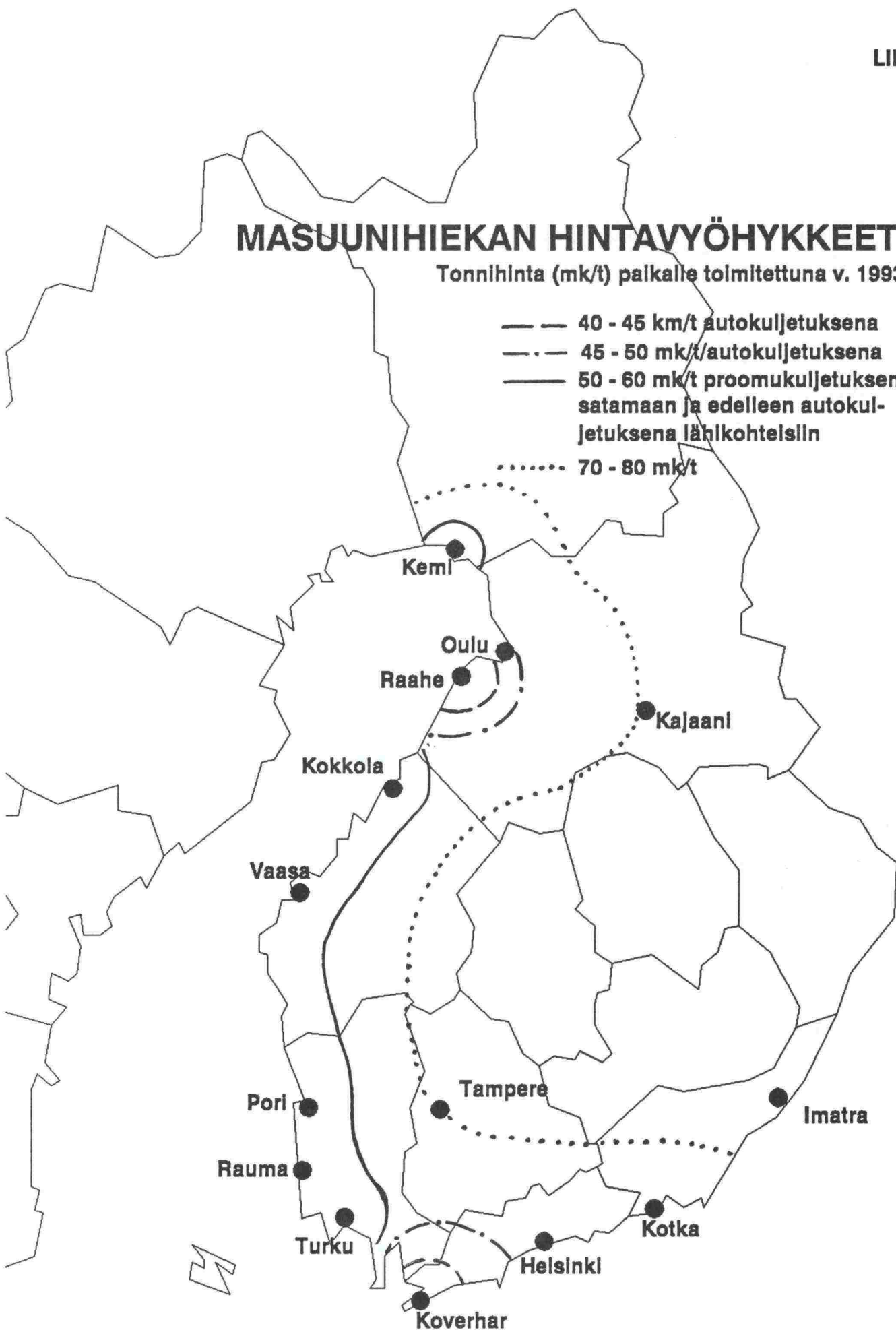
- Judycki, J. 1991. Structural characterization of road base materials treated with hydraulic binders. Oulu. 111 s. (Oulun yliopiston tie- ja liikennetekniikan laboratorion julkaisuja nro 12). ISBN 951-42-3162-7, ISSN 0785-4137
- Turunen, R. et al 1990. Asfalttipäällysteisten teiden päällysrakenteiden mitoitusmenetelmät. Oulu. 89 s. (Oulun yliopiston tie- ja liikennetekniikan laboratorion julkaisuja nro 7)
- Liimatta, L. et al 1992. Teiden kuormituskestävyys/parantamistarpeen laske-
minen. Oulu. (Oulun yliopiston tie- ja liikennetekniikan laboratorion julkaisuja nro 19.)
- Maarakennusalan tutkimus- ja suunnitteluohjeita, osa I. 1970. Helsinki. 328 s. Tie- ja vesirakennushallitus.
- Masuunikuonan käyttö sitomattomissa päällysrakennekerroksissa. 1993. Oulu. 29 s. Tielaitos, Geokeskus, Oulun kehitysyksikkö (Tielaitoksen selvityksiä 15/1993) ISBN 951-47-6987-2, TIEL 3200142.

Ullidtz, P. 1987. Pavement Analysis. Amsterdam. Elsevier Science Publishers B. V. 318 s. ISBN 0-444-42817-8.

MASUUNIHIEKAN HINTAVYÖHYKKEET

Tonnihinta (mk/t) paikalle toimitettuna v. 1993.

- — 40 - 45 mk/t autokuljetuksena
- . - 45 - 50 mk/t/autokuljetuksena
- 50 - 60 mk/t proomukuljetuksena
satamaan ja edelleen autokul-
jetuksena lähikohteisiin
- 70 - 80 mk/t



TIEHALLITUKSEN SISÄISIÄ JULKAISUJA

- 20/1992 Vanhojen tienrakennekerrosten uudelleen käyttö. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 26/1992 Kalliomurskeiden käyttö sitomattomissa rakennekerroksissa, esiselvitys. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 42/1992 Pehmeikölle perustettavan tiepenkereen geotekniset laskelmat. Geopalvelukeskus
- 43/1992 Pehmeikölle rakennettavien tieleikkausten geotekniset laskelmat. Geopalvelukeskus
- 44/1992 Saven varaan perustetut alikulkukäytävät. Geopalvelukeskus

TIELAITOKSEN SISÄISIÄ JULKAISUJA

- 32/1993 V-poikkileikkaus ja teräsverkot tierakenteissa; Tulokset V-poikkileikkauksen ja teräsverkkojen käyttökokeista tien pituussuuntaisten halkeamien ehkäisyssä. TIEL 4000043
- 48/1993 Geopalveluiden maksu- ja mittausperusteet; Geopalveluyksiköiden tuloslaskelmat. TIEL 4000049

TIELAITOKSEN TUTKIMUKSIA

- 4/1992 Tiepenkereen holvautuminen, loppuraportti. TIEL 3100005
- 5/1993 Arktinen tienrakentaminen, Kilpisjärven hankkeen yhteenveto. TIEL 3100011

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 1/1992 Pystyajanauhojen laatuvaatimukset; laadunvalvonta ja testausmenetelmät. TIEL 3200057
- 31/1992 Pohjaveden maatiivistesuojan tiivistäminen. TIEL 3200086
- 46/1992 Syvästabiloinnin laadunvalvontaohje. TIEL 3200099
- 62/1992 Hienoaineksen vaikutus stabiloidun moreenimurskeen pakkaskestävyyteen. TIEL 3200112
- 68/1992 Tien pohja- ja päällysrakenteet -tutkimusohjelma (TPPT), perussuunnitelma. TIEL 3200118
- 69/1992 Rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuus. TIEL 3200119
- 78/1992 PTM-auton tuottamien tunnuslukujen käyttökelpoisuus ja vertailtavuus sekä niiden yhteys laser-mittauksiin (IRI, IRI4, PI/Laser). TIEL 3200134
- 8/1993 Sitomattoman kantavan kerroksen rakentaminen. TIEL 3200135
- 15/1993 Masuunikuonan käyttö sitomattomissa päällysrakennekerroksissa. TIEL 3200142
- 16/1993 Betonipäällysteen seuranta; Vt 4 Kempele-Kiviniemi, seurantaraportti nro 1. TIEL 3200144
- 19/1993 Teiden kuntoa ja palvelutasoa koskeva seurantatutkimus. TIEL 3200145
- 20/1993 Moreeni ja sen käyttö. TIEL 3200146
- 26/1993 Bentoniittimattojen ja muovikavojen kelpoisuus pohjaveden suojaukseen, tutkimuksia ja suosituksia. TIEL 3200152
- 34/1993 Kalliomurskeiden tiivistyminen ja hienoneminen, esitutkimus. TIEL 3200159
- 36/1993 Palaturpeen käyttö lämmöneristeenä, raportti koerakenteiden rakentamisesta. TIEL 3200161

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 38/1993 Sitomattomien kerrosten kiviainesten muodonmuutosominaisuudet; Kirjallisuusselvitys. TIEL 3200163
- 39/1993 Sitomattomien kerrosten kiviainesten muodonmuutosominaisuudet; Esiselvitysvaiheen kuormituskokeet. TIEL 3200164
- 40/1993 Teiden tasaisuusmittareiden vertailu; PTM:n, Roadmanin ja Dipstickin laitevertailu sekä epätasaisuuksien vaikutus tierasitukseen. TIEL 3200165
- 41/1993 Stabiloidun materiaalin maksimiraekoon sekä koekappaleen koon ja muodon vaikutus puristuslujuuteen. TIEL 3200166
- 47/1993 Väsymissuorat tierakenteen mitoitusta varten. TIEL 3200172
- 59/1993 Valtatie 3 routamitoitus routanousun mukaan välillä Riihimäki P - Virala. TIEL 3200184
- 60/1993 Jännitys- ja muodonmuutosmittaukset tierakenteessa 1991-1992; Pohjaveden pinnan vaikutus, tienpinnan taipumamittaus eri lämpötiloissa, vertailu standardi paripyörä - Neste Oy:n kantavuusradan pyörä. TIEL 3200185
- 68/1993 Kuitukankaat tienrakennuksessa; Uudistetun VTT-GEO luokituksen mukaiset laatuvaatimukset. TIEL 3200193
- 71/1993 Nonwoven Geotextiles in Road Constructions. TIEL 3200193E
- 76/1993 Rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuus 1992-1993. TIEL 3200200
- 77/1993 Moreenin jalostaminen. TIEL 3200201
- 81/1993 Vt 12 Veittotensuon syvästabilointi, tutkimusraportti. TIEL 3200205
- 82/1993 Emulsiopäällysteiden suunnittelu ja rakentaminen. TIEL 3200206
- 4/1994 Strategic Highway Research Program (SHRP) - Long-Term Pavement Performance (LTPP); Materiaalimodulin määrittäminen takaisinlaskentaohjelmalla sekä tierakenteen vaurioitumisajankohdan ennustemallit. TIEL 3200213
- 7/1994 Tien pohja- ja päällysrakenteet, tutkimusohjelma (TPPT). Tutkimusohjelma vuosille 1994-2000. TIEL 3200218
- 8/1994 Roudan vaikutusten mallintaminen. TIEL 3200219
- 12/1994 Jännitys- ja muodonmuutosmittaukset tierakenteessa 1992-1993. Roudan sulamisen simulointi, pohjaveden pinnan vaikutus korkeassa lämpötilassa ja päällysteen reunan vaikutus. TIEL 3200223
- 24/1994 Tien pohja- ja päällysrakenteet - tutkimusohjelma (TPPT); Työn toiminta- ja laatusuunnitelma vuodelle 1994. TIEL 3200234
- 28/1994 Sitomattomien kerrosten kiviainesten muodonmuutosominaisuudet; Vuoden 1993 kuormituskokeet. TIEL 3200238
- 30/1994 Kallioleikkaukset. TIEL 3200240
- 45/1994 Maan routimisen termomekaaninen malli ja sen laskelmat. TIEL 3200254
- (Geotekniikan informaatiojulkaisuja:)*
- 2/1993 Massanvaihto. TIEL 3200127
- 21/1993 Pengerpaalutus. TIEL 3200147
- 23/1993 Pohjanvahvistusmenetelmän valinta. TIEL 3200149
- 24/1993 Tiegeotekniikan yleiset mitoitusperusteet. TIEL 3200150
- 39/1994 Tiepenkereen siirtymärakenteet pehmeiköllä. TIEL 3200248
- 42/1994 Nauhapystyöjitus. TIEL 3200251